

ESTUDIO DE DEPOSICIONES DE NITROGENO EN SUELOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EUTROFIZACIÓN TERRESTRE EN LA REGIÓN CENTRO OESTE ÁRIDA ARGENTINA. CASO DE ESTUDIO

B. Civit^{1,2}, A P. Arena^{1,2}, E. Puliafito²

1. INCIHUSA – Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – Cricyt – CONICET

2. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza

RESUMEN: Los factores de equivalencia que se emplean en etapa de evaluación de impactos del Análisis de Ciclo de Vida cuantifican el impacto observable causado por las emisiones contaminantes sobre el ambiente natural o construido y por el consumo de recursos. Si las categorías de impacto son evaluadas como impactos potenciales, los factores son independientes del sitio, pero cuando se quiere avanzar metodológicamente hacia el cálculo de los impactos reales, es necesario que tales factores sean representativos de la realidad medioambiental del sitio donde la emisión o el consumo se producen y del ecosistema que las recibe. Este trabajo expone los resultados obtenidos de la modelización de las deposiciones de nitrógeno en suelos, y su comparación con los valores de umbral para un cultivo representativo de la región (ajo), paso previo a la determinación de los factores de equivalencia para la categoría de impacto Eutrofización Terrestre para la región centro oeste árida argentina.

Palabras clave: Análisis de Ciclo de Vida, Evaluación de Impactos, deposición de nitrógeno, eutrofización terrestre.

INTRODUCCIÓN

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta ampliamente difundida en la mayoría de los países desarrollados para evaluar el impacto ambiental de productos, actividades o servicios. Las etapas de un ACV son (ISO14040): definición de objetivos, inventario, evaluación de impactos e interpretación. La etapa de evaluación de impactos (LCIA), traduce las emisiones identificadas y cuantificadas en la etapa de inventario en una medida del impacto que éstas producen sobre el ambiente. Para ello clasifica las distintas emisiones producidas en función de categorías de impacto, que pueden tener alcance global (calentamiento global, adelgazamiento de la capa de ozono) o bien alcance regional o local (acidificación, eutrofización, formación de ozono fotoquímico, toxicidad humana, etc.), y luego las relaciona mediante factores de equivalencia. En el último caso, el impacto sobre el ambiente será diferente según dónde se produzca la acción nociva.

En los últimos años se han comenzado a difundir metodologías de LCIA más sofisticadas que tienen en cuenta no sólo la cantidad de emisiones producidas, sino también el lugar donde son liberadas, su destino y el daño que producen, sea sobre el ecosistema natural, artificial o sobre la salud humana. En estas metodologías, los factores de equivalencia utilizados reflejan una dependencia del sitio, y serán en general diferentes de un lugar a otro.

El Uso de Factores de Equivalencia Dependientes del Sitio

La factibilidad y uso de factores de equivalencia dependientes del sitio, en particular en la región centro oeste de la Argentina, debe ser analizada sin perder de vista la posición del practicante. La complejidad de la metodología y la gran cantidad de datos necesarios, determina que en la mayoría de los casos estos estudios se realicen utilizando soportes informáticos, que han sido desarrollados en los países donde la metodología se encuentra ya asentada. Esta práctica simplifica la aplicación del ACV, y con algunas consideraciones, los resultados obtenidos reflejan con buena aproximación la situación local o regional, siempre que los factores de equivalencia utilizados sean potenciales, es decir, no tengan implícitas consideraciones específicas del sitio. Si en cambio la metodología de impacto que el producto informático utiliza, y sus correspondientes factores de equivalencia, evalúan impactos reales (con consideraciones específicas del sitio emisor/receptor), su uso en regiones diferentes a donde fueron originalmente desarrollados conduce a la obtención de resultados erróneos. Esto ha determinado el inicio de una serie de estudios tendientes a desarrollar y calcular indicadores para categorías de impacto locales y regionales para la región centro oeste argentina, incluyendo acidificación (Civit et al 2005, Civit et al 2006a) y uso del suelo y desertificación (Civit et al 2006b). En este trabajo se aborda el estudio para el caso de la eutrofización terrestre.

La Eutrofización Terrestre

Los métodos empleados en la etapa de evaluación de impactos del ciclo de vida incluyen entre sus categorías de impacto la Eutrofización, entendida como el exceso de nutrientes, específicamente de compuestos de nitrógeno y fósforo, en ecosistemas acuáticos y/o terrestres produciendo un efecto nocivo tal que modifica las condiciones de vida de las diferentes especies que habitan y se desarrollan en los mismos. Hasta hace algunos años se consideraba la eutrofización como una única categoría de

impacto, recién en 1992 se explicitó la diferencia entre eutrofización de ecosistemas terrestres y acuáticos. Recientemente Potting et al. (2004) incluye en el método EDIP 2003, una actualización del ampliamente difundido EDIP 97, la eutrofización terrestre como categoría de impacto independiente. La razón de esta diferenciación es que los ecosistemas terrestres se ven afectados principalmente por el aporte de las emisiones de compuestos de Nitrógeno emitidos en el aire durante todo el ciclo de vida de productos, procesos o actividades, mientras que otros nutrientes responsables del efecto eutroficante en ecosistemas acuáticos, como lo es el fósforo, no presentan relevancia.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es el cálculo de los niveles de deposición de nitrógeno en suelos, y su comparación con los valores de umbral de contenido de nutrientes para el caso de un cultivo representativo de la región (ajo). Este cálculo es previo a la determinación de factores de equivalencia para la categoría de impacto Eutrofización Terrestre (factores de eutrofización) a ser empleados en los estudios de ACV que tengan lugar en la región centro oeste árida argentina.

MATERIALES Y METODOS

Del mismo modo en que se trabajó metodológicamente para el cálculo de los Factores de Acidificación (Civit et al, 2005), se analizará la categoría de impacto Eutrofización Terrestre y se calculará los factores de equivalencia para esta categoría.

Consideraciones Iniciales

Principales Fuentes de Emisión de Compuestos Nitrogenados

Las sustancias causantes de eutrofización terrestre provenientes de fuentes industriales o vehiculares que son liberadas directamente a la atmósfera se depositan sobre el suelo, como contaminante primario (NOx), o combinado como contaminante secundario (nitritos y nitratos). En este trabajo se considera solamente los óxidos de nitrógeno (NOx).

Para el cálculo de las concentraciones anuales de NOx se computaron las emisiones producidas por fuentes fijas ubicadas en el polo industrial de Luján de Cuyo (Mendoza), Argentina, y la emisiones del tráfico vehicular en el área metropolitana de la citada provincia argentina. Las concentraciones anuales calculadas se convirtieron luego en índices de deposición, estableciendo el patrón de distribución de la deposición de las sustancias eutrofizantes. Las emisiones de NOx de las fuentes fijas consideradas fueron mediciones in situ realizadas durante el año 1996. Los datos de las emisiones causadas por el tráfico vehicular están actualizados al año 2004. La información se procesó y almacenó en bases de datos compatibles con los sistemas de información geográfica utilizados (ArcView GIS 3.2[®]).

Valores Umbrales de Nitrógeno: Selección del Cultivo Representativo para el Análisis

El proceso de eutrofización terrestre se produce cuando se exceden los niveles óptimos de nitrógeno necesarios para que un determinado cultivo alcance su mayor rendimiento o productividad. Este proceso es extensivo a la vegetación natural de los ecosistemas, como pasturas, bosques, etc. Para cada especie o cultivo existe un máximo de Nitrógeno tolerable. De la totalidad de cultivos existentes en la región estudiada dos de ellos son los que presentan mayor relevancia, tanto por la superficie cubierta como por su relevancia económica de la región: la vid y el ajo.

En esta fase del trabajo se seleccionó el ajo como cultivo de referencia, pues se cuenta con un alto grado de información acerca del manejo de este cultivo, especialmente referida a los rendimientos de producción. La sensibilidad frente a la eutrofización se establecerá de acuerdo a los valores umbrales de Nitrógeno que el ajo puede tolerar sin que la productividad decline. Tal sensibilidad será luego relacionada con la cantidad de compuestos de nitrógeno depositados y se calculará la equivalencia de la acción nociva con el efecto de eutrofización.

RESULTADOS OBTENIDOS

Representación gráfica del patrón de deposición resultante

Como se mencionó en párrafos anteriores, en este trabajo se considera solamente los óxidos de Nitrógeno como promotores de eutrofización. Las concentraciones anuales de NOx se calcularon mediante el programa ISC 3¹ de la US EPA (Bailey and Schwede, 1995), el cual permitió obtener la distribución de la concentración anual medida en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El patrón de deposición obtenido para las emisiones de los dos tipos de fuentes consideradas se muestra en las figuras 1 a) y 1 b). En la figura 1 a) puede observarse que la mayor concentración de NOx se ubica en las inmediaciones del parque industrial considerado, el abanico luego se extiende hacia el Sur y el Noreste a causa de la circulación predominante de los vientos en la región. La figura 1 b) muestra que la mayor concentración de NOx se produce sobre el área metropolitana debido a la densidad de flujo vehicular que se focaliza en el centro de la capital y los alrededores.

¹ El programa mencionado no considera las reacciones químicas que se producen en la atmósfera una vez que el gas contaminante se ha emitido, por otra parte tiene alcance local, es decir, abarca un radio de acción de 25 Km, mientras que los óxidos de nitrógeno pueden viajar en la atmósfera antes de depositarse sobre el suelo cientos de kilómetros. Para salvar la primera dificultad, se consideró el escenario más desfavorable, el cual supone que la totalidad de gas emitido se depositará sobre el área analizada. Esta área está representada, al igual que se hizo con las deposiciones de sustancias acidificantes para mantener la consistencia del método, por una grilla de 28800 celdas de 350 m x 350m cada una, abarcando un total de 35280 ha, distribuidas hacia el sur, sur oeste y noreste de la ciudad de Mendoza. El segundo inconveniente no se solucionó hasta el momento, sin embargo, se está trabajando en la implementación de un modelo de dispersión que permita considerar las reacciones químicas y que el alcance sea mayor.

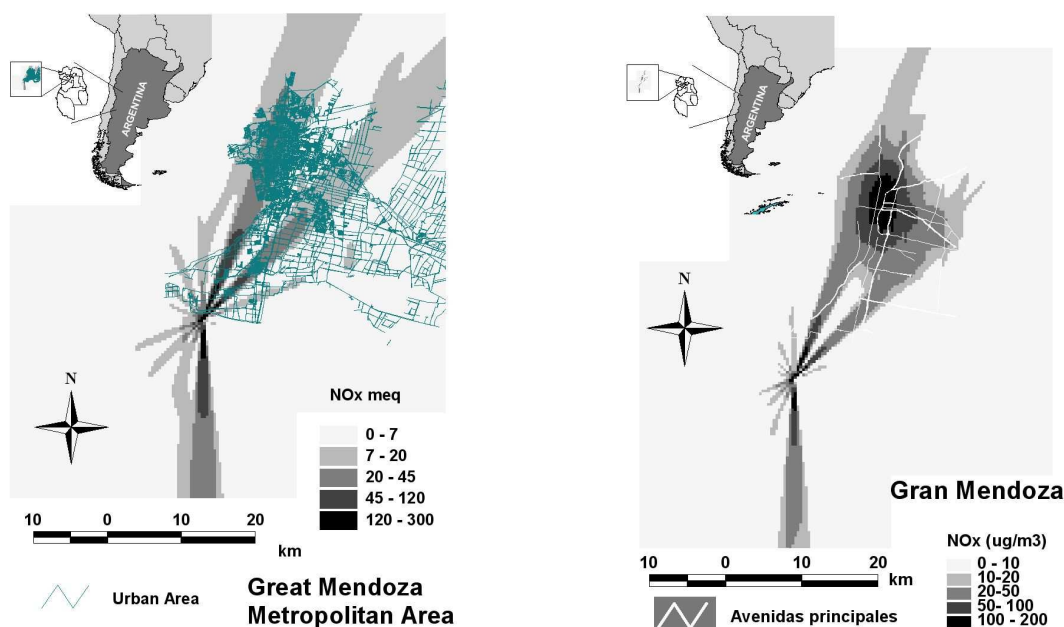


Figura 1- Patrón de distribución de la deposición de NOx- a) para fuentes fijas solamente, b) incluye además fuentes móviles. Elaboración de los autores.

Comparación de deposiciones con los valores umbrales de nitrógeno

El umbral de nitrógeno para el ajo dadas las condiciones nutricionales del suelo es de 297 Kg N ha^{-1} . Este valor fue tomado de Gaviola y Lipinski (2002), en el cual se evaluó el rendimiento del cultivo de ajo blanco y colorado empleando diferentes dosis de nitrógeno y frecuencias de aplicación. Debe tenerse en cuenta que los suelos en la región considerada son suelos que presentan deficiencia de Nitrógeno. La proporción de nitrógeno total en suelos de Mendoza es generalmente baja oscilando entre $200 - 600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($96 - 288 \text{ Kg N ha}^{-1}$) (Gaviola et al, 1998; Gaviola et al, 1991), aunque existen buenas condiciones ecológicas para su mineralización que compensan, en parte, esas circunstancias. Una justificación de tal afirmación se encuentra en el trabajo realizado por Gaviola *et al.* (1991) en que se obtuvo que para un rendimiento de ajo colorado de 10 t ha^{-1} la extracción de nitrógeno que realiza el cultivo es de 180 kg N ha^{-1} . Si se parte de la hipótesis de realizar un cultivo de ajo sobre un suelo franco con contenido de nitrógeno total de 600 mg kg^{-1} y considerando una tasa de mineralización del 2%, ese suelo es capaz de suministrar sólo el 31% del requerimiento del cultivo. El resto debe ser cubierto mediante fertilización (Gaviola y Lipinski, 2005). En estas condiciones, la deposición de Nitrógeno no causaría eutrofización hasta alcanzar el valor de umbral. Esto constituye entonces el criterio para determinar la sensibilidad frente a la Eutrofización Terrestre para el cultivo seleccionado. En caso de exceso, este constituiría el impacto debido a la deposición de compuestos de N. Por el contrario, si no existe exceso, tal efecto no ocurrirá. Las cantidades de N depositadas varían entre $4.89 \text{ E}^{-06} \text{ Kg ha}^{-1}$ y $1.99 \text{ E}^{-01} \text{ Kg ha}^{-1}$.

Sensibilidad	Kg N / ha
0 (insensible)	< 297
1 (sensible)	≥ 297

Tabla 1. Sensibilidad frente a la eutrofización terrestre para el ajo

Los resultados obtenidos hasta el momento, de la superposición entre las cantidades depositadas sobre la grilla estudiada y el umbral de nitrógeno tolerable para el cultivo de ajo, se han representados gráficamente mediante un Sistema de Información Geográfica, (ArcView GIS 3.2[®]) obteniendo la imagen que se muestra en la figura 2. La zona estudiada abarca una porción relativamente pequeña respecto del territorio de la provincia que la contiene (conocido como el oasis norte de la provincia), donde se concentra la mayor actividad industrial, urbana y agrícola de la provincia. La distribución de las parcelas con cultivo de ajo se tomaron de Portillo et al, 2005.

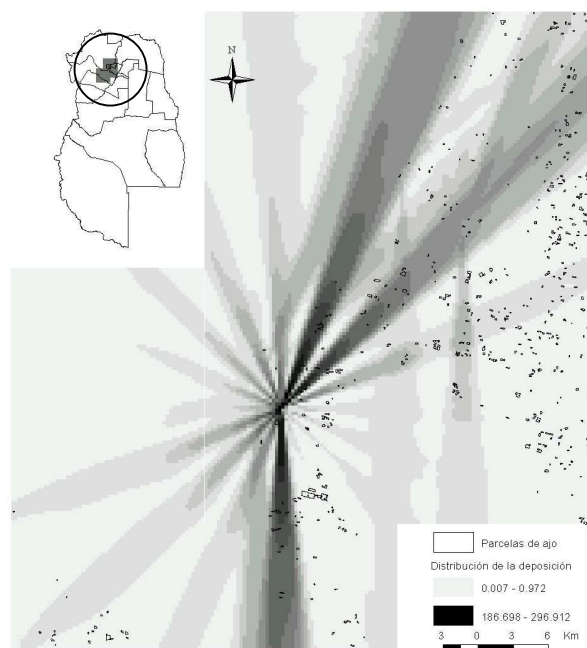


Figura 2. Distribución de la deposición de NOx sobre las parcelas de ajo. Elaboración de los autores

Metodología de cálculo propuesta para el Factor de Equivalencia de Eutrofización (Factor de Eutrofización)

El factor de eutrofización para la sustancia contaminante NOx, considerado como su equivalente en N, se obtendrá aplicando a cada celda de la grilla establecida la ecuación (1) que representa la variación entre la cantidad depositada y el umbral de nitrógeno que cada parcela de cultivo presenta, teniendo en cuenta su sensibilidad. Luego se debe calcular el valor para toda el grilla y obteniéndose el factor de eutrofización en el área considerada.

$$E_i = D_{Ni} - N_{tot\ i} \quad (1)$$

donde E_i representa el factor de eutrofización para la grilla; D_{Ni} la cantidad de nitrógeno en forma de óxido de nitrógeno que deposita en cada celda, y $N_{tot\ i}$ la cantidad de nitrógeno umbral.

CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Se han establecido las deposiciones en suelos de Nitrógeno presentes en la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles, en la región centro oeste árida argentina, y se han comparado con los valores umbral de Nitrógeno (considerado como el máximo admisible sin afectar el rendimiento) correspondientes a un cultivo representativo de la región: el ajo. Esto permite establecer la sensibilidad que presenta el cultivo de ajo en esos suelos frente al riesgo de eutrofización. Los resultados muestran que en las condiciones analizadas no se produciría eutrofización en estos cultivos pues en ningún caso se supera el valor umbral. El procedimiento descrito es aplicable en la región considerada y constituye un acercamiento a la determinación de los factores de eutrofización.

Es importante destacar que durante la investigación realizada, se encontró otra alternativa para establecer sensibilidad de los suelos frente a la deposición de sustancias que pueden causar eutrofización, la cual consiste en hacer una correlación entre la textura de los suelos considerados con la cantidad de nitrógeno total estimada para cada caso (Gaviola, 2006). De este modo se puede establecer una escala de sensibilidad, variando entre muy sensible a insensible, que luego sea comparable con la cantidad proveniente de emisiones liberadas a la atmósfera depositada en el suelo. Al igual que para el caso expuesto, si se verifica exceso del umbral crítico se produce eutrofización terrestre, en caso contrario el impacto no sería relevante. Se analizará ventajas y desventajas de esta nueva alternativa con respecto a la propuesta presentada.

AGRADECIMIENTOS

La realización del presente trabajo contó con la invaluable colaboración de la Srta. Cecilia Rubio en el procesamiento de la información en el sistema de información geográfica, y de la Ing. Silvia Gaviola de Heras en los temas específicos de la influencia del Nitrógeno en el cultivo del ajo.

REFERENCIAS

Bailey D and Schwede D (1995) "User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Model", Vol I and II, EPA-454/B-95-003a, EPA-454/B-95-003b, US – EPA, Research Triangle Park, North Carolina 27711

- Civit B., Arena, A.P, Puliafito, E. (2005) Site-dependent Acidification factors for Argentinean western arid region. Life cycle management international conference. Barcelona, 5 al 7 de septiembre de 2005.
- Civit, B., Arena, A.P. (2006a). Terrestrial Acidification: is it a relevant impact category for ACV studies in the western arid region of Argentina?. Second International Conference: Quantified Eco-Efficiency for Sustainability. The Netherlands, 28-30 de junio de 2006.
- Civit, B., Arena, AP (2006b). Towards the identification and calculation of characterization factors for land use in western Argentina. Expert Workshop: definition of best indicators for land use impacts in Life Cycle Assessment". University of Surrey, Guildford, 12-13 Jun 2006.
- Gaviola de Heras, S, Filippini, M.F. y Lipinski V. (1991) Ritmo de Crecimiento y Absorción de Nutrientes en Ajo(*Allium sativum* L.). Efecto de la Fertilización sobre Componentes del Rendimiento en los tipos Blancos y Colorados. I y II CURSO TALLER SOBRE PRODUCCIÓN, COMERCIALIZACIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE AJO. pags:105-112.
- Gaviola S., Lipinski VM, Nijensohn L (1998) Respuesta de la cebolla para deshidratar a la fertilización. Ciencia del Suelo, Vol 16, Nº 2. pág. 119-121
- Gaviola S. y Lipinski V (2002) Diagnóstico rápido de nitrato en ajo cv. Fuego INTA con riego por goteo. Ciencia del Suelo, Vol 20 Nº1. pág. 43-49
- Gaviola S. y Lipinski V.M. (2005). Ajo y Cebolla. Capítulo 23. Pág. 455-467. En: H.E. Echeverría y F.O. García (eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina. ISBN N°: 987-521-192
- Gaviola de Heras, S. (2006) Conversación personal en la Cátedra de Edafología de la Carrera Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agrarias dependiente de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina, Julio.
- ISO (1997) - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework - EN ISO 14040.
- Portillo, J.; Zalazar, L.; Aloy, G. & Puga, H. (2005) Determinación de la ubicación y superficie cultivada con ajo a partir de la interpretación de imágenes satelitales. Programa Ecoatlas - Instituto de Desarrollo Rural. Mendoza, Argentina.
- Potting J., Schöpp W. and Hauschild M. (2004) Background for spatial differentiation in life cycle impact assessment. The EDIP2003 methodology. Final Version. Copenhagen. pp 285.

ABSTRACT: The characterization factors used in Life Cycle Impact Assessment quantify the impact caused by emissions released to the environment or caused by resources consumption. If impact categories are assessed as potential impacts, the factors are site-independent. In order to get a real impact instead of a potential one, it is necessary that such factors represent the environmental conditions of the site where the emission or the consumption takes place and also the characteristics of the receiving ecosystem. This work presents the results obtained when calculating Nitrogen depositions and their comparison with the threshold values for a representative crop on the considered region (garlic). This is the previous step to the determination of the equivalency factors for impact category "Terrestrial Eutrophication" for the western arid region of Argentina.

Key words: Life cycle impact assessment, Nitrogen deposition, terrestrial eutrophication